

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика
Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

| Тема работы | |
|--|--|
| Алгоритмы автоматического дифференцирования в задачах финансовой математики | |
| УДК 004.421:330.4:517.518.15 | |

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|----------------------------|---------|------|
| 8БМ61 | Ильсова Ильмира Эльмировна | | |

Руководитель ВКР

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент ИШИТР | Кочегуров Александр Иванович | К. Т. Н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель ШИП | Шаповалова Наталья Владимировна | | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------|------------------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент ИШНКБ | Авдеева Ирина Ивановна | | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор ИШИТР | Коваль Тамара Васильевна | д. ф.-м. н. | | |

Томск – 2018 г.

**Планируемые результаты обучения по направлению подготовки
01.04.02 Прикладная математика и информатика**

| Код результата | Результат обучения |
|---|---|
| 1 | 2 |
| Общекультурные компетенции | |
| ОК-1 | Способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу. |
| ОК-2 | Готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения. |
| ОК-3 | Готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала. |
| Общепрофессиональные компетенции | |
| ОПК-1 | Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности. |
| ОПК-2 | Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия. |
| ОПК-3 | Способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе, в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять своё научное мировоззрение. |
| ОПК-4 | Способность использовать и применять углубленные знания в области прикладной математики и информатики. |

Продолжение таблицы

| 1 | 2 |
|-------------------------------------|---|
| ОПК-5 | Способность использовать углублённые знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов. |
| Профессиональные компетенции | |
| ПК-1 | Способность проводить научные исследования и получать новые научные и прикладные результаты самостоятельно и в составе научного коллектива. |
| ПК-2 | Способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач. |
| ПК-3 | Способность углубленного анализа проблем, постановки и обоснования задач научной и проектно-технологической деятельности. |
| ПК-4 | Способность разрабатывать концептуальные и теоретические модели решаемых задач проектной и производственно-технологической деятельности. |
| ПК-5 | Способность управлять проектами, планировать научно-исследовательскую деятельность, анализировать риски, управлять командой проекта. |
| ПК-6 | Способность организовывать процессы корпоративного обучения на основе технологий и развития корпоративных баз знаний. |
| ПК-7 | Способность разрабатывать и оптимизировать бизнес-планы научно-прикладных проектов |

Окончание таблицы

| 1 | 2 |
|-------|---|
| ПК-8 | Способность разрабатывать корпоративные стандарты и профили функциональной стандартизации приложений, систем, информационной инфраструктуры. |
| ПК-9 | Способность к преподаванию математических дисциплин и информатики в образовательных организациях основного общего, среднего общего, среднего профессионального и высшего образования. |
| ПК-10 | Способность разрабатывать учебно-методические комплексы для электронного и мобильного обучения. |
| ПК-11 | Способность разрабатывать аналитические обзоры состояния области прикладной математики и информационных технологий. |
| ПК-12 | Способность к взаимодействию в рамках международных проектов и сетевых сообществ. |
| ПК-13 | Способность осознавать корпоративную политику в области повышения социальной ответственности бизнеса перед обществом, принимать участие в её развитии. |

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Информационных технологий и робототехники
Направление подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика
Отделение школы (НОЦ) Информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|------------------------------|
| 8БМ61 | Ильясовой Ильмире Эльмировне |

Тема работы:

Алгоритмы автоматического дифференцирования в задачах финансовой математики

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|--|
| Исходные данные к работе | Литературные источники. |
| Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов | <ul style="list-style-type: none"> – методы дифференцирования и их применение в задачах финансовой математики; – алгоритмы автоматического дифференцирования и их программная реализация; – реализация автоматического дифференцирования на модели Блэка-Шоулза; – финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; – социальная ответственность. |
| Перечень графического материала | Презентация |
| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |
| Раздел | Консультант |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Шаповалова Наталья Владимировна |
| Социальная ответственность | Авдеева Ирина Ивановна |

| | |
|---|--------------------------------|
| Английский язык | Комиссарова Ольга Валентиновна |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| 3 АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ И ИХ ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ | |

| | |
|--|--|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | |
|--|--|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------|---------------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ИШИТР | Кочегуров Александр Иванович | К. Т. Н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 8БМ61 | Ильясова Ильмира Эльмировна | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 140 с., 6 рис., 29 табл., 28 источников, 2 прил.

Ключевые слова: автоматическое дифференцирование, численные методы, опционы, модель Блэка-Шоулза, метод Монте-Карло.

Объектом исследования является технология автоматического дифференцирования процессов, описывающих стоимость опционов.

Цель работы – разработка и реализация алгоритмов автоматического дифференцирования на модели Блэка-Шоулза на языке C++.

В процессе выполнения работы проводились теоретические и экспериментальные исследования алгоритмов автоматического и численного дифференцирования, для чего была осуществлена их программная реализация на языке C++.

В результате проведённых исследований показано, что использование алгоритмов автоматического дифференцирования имеет преимущество в точности вычисления, однако уступает в скорости численным методам.

Научная новизна состоит в применении технологии автоматического дифференцирования при решении задач финансовой математики.

Степень внедрения: разработанные в рамках магистерской диссертации алгоритмы и их программные модули использованы в ООО «Эко-Томск», г. Томск.

Область применения: разработанные алгоритмы могут применяться в задачах финансовой математики, а также во всех областях знаний, где требуется вычисление производных.

Экономическая эффективность работы в высокой научной значимости и актуальности поставленной задачи.

В будущем планируется проводить оптимизацию кода для повышения скорости вычислений.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

дериватив (производный финансовый инструмент): Договор (контракт), по которому стороны получают право или обязуются выполнить некоторые действия в отношении базового актива.

ликвидность: Экономический термин, обозначающий способность активов быть быстро проданными по цене, близкой к рыночной.

опцион: Договор, по которому покупатель опциона (потенциальный покупатель или потенциальный продавец базового актива – товара, ценной бумаги) получает право, но не обязательство, совершить покупку или продажу данного актива по заранее оговорённой цене в определённый договором момент в будущем или на протяжении определённого отрезка времени.

спекуляция: Получение дохода за счёт разницы между ценами покупки и продажи.

стохастический: Случайный (процесс).

хеджирование: Открытие сделок на одном рынке для компенсации воздействия ценовых рисков равной, но противоположной позиции на другом рынке.

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

| Обозначение | Наименование |
|----------------------------|---|
| ГОСТ 12.0.003-2015 | ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация |
| ГОСТ 12.1.003-83 | ССБТ. Шум. Общие требования безопасности |
| ГОСТ 12.1.004-91 | ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования |
| ГОСТ 12.1.038-82 | ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов |
| ГОСТ 12.1.045-84 | ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля |
| СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 | Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий |
| СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 | Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы |
| СанПиН 2.2.2.548-96 | Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений |

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 13 |
| 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ | 15 |
| 2 МЕТОДЫ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ ФИНАНСОВОЙ МАТЕМАТИКИ | 18 |
| 2.1 Методы вычисления производных | 18 |
| 2.2 Применение методов дифференцирования для решения задач финансовой математики | 20 |
| 2.2.1 Задачи финансовой математики | 20 |
| 2.2.2 Анализ расчёта чувствительности цены портфеля ценных бумаг к изменениям различных риск-факторов на основе численного дифференцирования. Постановка задачи. | 21 |
| 3 АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ И ИХ ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ | 23 |
| 3.1 Методы численного дифференцирования | 23 |
| 3.1.1 Теория дифференцирования | 23 |
| 3.1.2 Аппроксимации первой производной | 23 |
| 3.2 Методы автоматического дифференцирования | 25 |
| 3.2.1 Правило дифференцирования сложной функции (цепное правило) | 25 |
| 3.2.2 Прямой режим | 26 |
| 3.2.3 Обратный режим | 28 |
| 3.2.4 Дуальные числа | 29 |
| 3.2.5 Существующие библиотеки АД | 30 |
| 3.3 Разработка алгоритмов и программы автоматического дифференцирования применительно к задачам финансовой математики | 31 |
| 3.3.1 Описание алгоритмов автоматического дифференцирования | 31 |
| 3.3.2 Программная реализация алгоритмов | 34 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.3.2.1 | Понятие класса | 34 |
| 3.3.2.2 | Шаблоны классов | 35 |
| 3.3.2.3 | Перегрузка операторов | 35 |
| 3.3.2.4 | Контейнер «vector» | 36 |
| 4 | РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ НА МОДЕЛИ БЛЭКА-ШОУЛЗА | 38 |
| 4.1 | Модель Блэка-Шоулза | 38 |
| 4.1.1 | «Греки» и их применение | 40 |
| 4.2 | Методы оценки опционов | 40 |
| 4.2.1 | Метод Монте-Карло | 41 |
| 4.3 | Реализация конечно-разностного метода и автоматического дифференцирования на модели Блэка-Шоулза | 42 |
| 4.4 | Сравнение эффективности автоматического дифференцирования и метода конечных разностей | 43 |
| 4.4.1 | Исследование точности вычисления | 44 |
| 4.4.2 | Исследование скорости вычисления | 46 |
| 5 | ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ | 48 |
| 5.1 | Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | 48 |
| 5.1.1 | Потенциальные потребители результатов исследования | 48 |
| 5.1.2 | Анализ конкурентных технических решений | 48 |
| 5.1.3 | SWOT-анализ | 50 |
| 5.2 | Планирование научно-исследовательских работ | 52 |
| 5.2.1 | Структура работ в рамках научного исследования | 52 |
| 5.2.2 | Определение трудоёмкости выполнения работ | 53 |
| 5.2.3 | Разработка графика проведения научного исследования | 57 |
| 5.2.4 | Бюджет научно-технического исследования (НТИ) | 58 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 5.2.4.1 | Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ | 58 |
| 5.2.4.2 | Основная заработная плата исполнителей темы | 59 |
| 5.2.4.3 | Дополнительная заработная плата исполнителей темы | 60 |
| 5.2.4.4 | Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) | 60 |
| 5.2.4.5 | Накладные расходы | 61 |
| 5.2.4.6 | Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта | 62 |
| 5.3 | Оценка эффективности исследования | 62 |
| 6 | СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ | 69 |
| 6.1 | Производственная безопасность | 69 |
| 6.2 | Недостаточная освещённость рабочей зоны; отсутствие или недостаток естественного света | 71 |
| 6.3 | Повышенный уровень шума | 73 |
| 6.4 | Повышенный уровень электромагнитных излучений; повышенная напряжённость электрического поля | 74 |
| 6.5 | Повышенная или пониженная влажность воздуха | 76 |
| 6.6 | Электрический ток (источник: ПК) | 77 |
| 6.7 | Экологическая безопасность | 78 |
| 6.8 | Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Пожарная безопасность | 79 |
| 6.9 | Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности | 81 |
| 6.9.1 | Организационные мероприятия обеспечения безопасности | 81 |
| 6.9.2 | Особенности законодательного регулирования проектных решений | 82 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 83 |
| | СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ | 84 |
| | Приложение А | 87 |
| | Приложение Б | 102 |

ВВЕДЕНИЕ

В финансовой математике часто возникает проблема расчёта чувствительности цены портфеля ценных бумаг к изменениям различных риск-факторов (цена базового актива, процентная ставка, волатильность и т. д.), информация о которой может быть получена на основании расчёта производных. Значения производных цены могут быть также использованы для выбора дальнейшей стратегии управления портфелем, оценки возможных рисков и т. д. Поэтому точность расчёта значений производных очень важна. Помимо точности, имеет важность также время расчёта, поскольку часто модели для оценки рисков необходимо запускать каждый день (а то и несколько раз в день) для большого числа портфелей.

В настоящее время для расчёта производных можно использовать готовые библиотеки автоматического дифференцирования (АД), однако они в совокупности имеют ряд недостатков:

- отсутствие обновлений и/или технической поддержки;
- сложности при внесении изменений;
- вопрос внедрения готовой АД библиотеки в уже существующий и работающий без АД код ещё не исследован (это может вызывать сложности и потребовать больше времени, чем самостоятельная разработка).

В данной работе используется модель ценообразования опционов Блэка-Шоулза (Б.-Ш.) по следующим причинам:

- существует возможность оценки точности вычислений АД и конечно-разностного метода (KPM), поскольку известны аналитические выражения всех характеристик данной модели;
- методы расчёта цены опциона по модели Б.-Ш. хорошо изучены (метод Монте-Карло, решение PDE KPM);
- модель Б.-Ш. активно используется в финансовой сфере.

Цель работы: разработка и реализация алгоритмов автоматического дифференцирования на модели Блэка-Шоулза на языке C++.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать современные проблемы финансовой математики и провести обзор методов вычисления производных от функций в этой области;
- провести анализ существующих алгоритмов АД;
- разработать алгоритм АД для области финансовой математики и реализовать его на языке C++;
- протестировать программный код на модели Б.-Ш.;
- сделать выводы по результатам исследований.

Объектом исследования является технология АД процессов, описывающих стоимость опционов.

Предметом исследования являются скорость и точность вычисления первых производных АД на примере модели Б.-Ш.

Научная новизна состоит в применении технологии АД в задачах финансовой математики.

Практическая значимость работы состоит во внедрении алгоритмов АД в ООО «Эко-Томск», г. Томск.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

При написании магистерской диссертации были использованы научная и научно-техническая литература, Интернет-ресурсы.

Финансовая математика подробно описана в источнике [1].

Основным источником, раскрывающим теоретические основы вычислительной математики, послужила работа [2]. В ней представлены элементы интервального анализа и современные интервальные методы для решения традиционных задач вычислительной математики. Также в книгу помещены краткий очерк идей конструктивной математики и теории сложности вычислений, тесно связанных с предметом математики вычислительной.

На сайте [3] представлена краткая информация о европейском опционе, его характеристиках. Также рассмотрены на примерах методы Монте-Карло и КРМ.

Информация о теории дифференцирования подробно изложена в [4]. «Курс дифференциального и интегрального исчисления» является фундаментальным учебником по математическому анализу. Отличается систематичностью и строгостью изложения, простым языком, подробными пояснениями и многочисленными примерами. В первом томе рассказывается о теории пределов, функции одной переменной, производных и дифференциалах, исследовании функции с помощью производных, функциях нескольких переменных, функциональных определителях и их приложениях, приложении дифференциального исчисления к геометрии, задаче распространения функций.

В [5] рассматриваются вопросы построения и реализации численных методов решения задач математической физики и с методами их исследования. Основной целью главы I является представление типичных примеров разностных схем и знакомство с простейшими примерами исследования разностных задач.

В статье про АД [6] описываются основы этого метода вычисления производных. В частности, представлены прямой и обратный режимы, а также краткие сведения о способах имплементации [7], [8], [9], [10], [11].

В книге [12] рассматриваются две обширные темы: язык программирования C++ и программирование приложений Windows с использованием библиотеки MFC или инфраструктуры .NET Framework. В состав всех глав книги входит множество рабочих примеров, демонстрирующих описываемые в них приёмы программирования. Каждая глава завершается перечнем ключевых моментов, а в конце многих глав включены также упражнения, позволяющие применить полученные знания на практике.

Помимо [12], в качестве пособия был использован источник [13]. Здесь основной акцент сделан не столько на языке, сколько на практике программирования на языке C++. Изложение материала ведется параллельно в синтаксической (языковой) и в технологической (инструментальной) последовательности. Значительное внимание уделяется вопросам «чтения/понимания» программ, образной и неформальной части процесса программирования. Подробно рассматриваются связи языка с компьютерной архитектурой (в т. ч. с учетом машинно-ориентированных аспектов Си), специфические области программирования (двоичные файлы, структуры данных, динамическое связывание, рекурсивное программирование). Даются основные понятия эффективности (трудоемкости) алгоритмов, основные выводы теории алгоритмов в их преломлении к процессу анализа, проектирования и отладки программ.

В Интернет-источниках [14], [15], [16] содержится информация о «vector» – стандартном шаблоне обобщённого программирования языка C++.

Модель Блэка-Шоулза подробно описана в [17], [18], [19].

В данном ресурсе [20] автор повествует о различных методах оценки опционов, а именно: аналитические и численные. Численные методы, в свою

очередь, включают в себя биномиальный метод, метод конечных разностей и метод Монте-Карло.

2 МЕТОДЫ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ ФИНАНСОВОЙ МАТЕМАТИКИ

Финансовая математика – раздел прикладной математики, который имеет дело с математическими задачами, связанными с финансовыми расчётами. В финансовой математике любой финансовый инструмент рассматривается с точки зрения генерируемого этим инструментом некоторого (возможно случайного) денежного потока.

Основные направления:

- классическая финансовая математика, или математика кредита, (проведение процентных расчётов; вопросы, связанные с различными долговыми инструментами: векселями, депозитными сертификатами, облигациями; анализ потоков платежей, применяемый в банковском деле, кредитовании, инвестировании);
- стохастическая финансовая математика, включающая расчёт безарбитражной (или «справедливой») цены финансовых инструментов;
- проведение актуарных расчётов (составляющих математическую основу страхования);
- эконометрические расчёты, связанные с прогнозированием поведения финансовых рынков [1].

2.1 Методы вычисления производных

Дифференцированием называется, как известно, процесс нахождения производной от заданной функции или же численного значения этой производной в заданной точке. Необходимость выполнения дифференцирования возникает весьма часто и вызвана огромным распространением этой операции в современной математике и её приложениях. Производная бывает нужна и сама по себе, как мгновенная скорость тех или

иных процессов, и как вспомогательное средство для построения более сложных вычислительных технологий.

В настоящее время наиболее распространены три следующих способа вычисления производных:

- аналитическое (символьное) дифференцирование;
- численное дифференцирование;
- автоматическое (алгоритмическое, вычислительное) дифференцирование.

Символьным (аналитическим) дифференцированием называют процесс построения по функции, задаваемой каким-то выражением, производной функции, основываясь на известных из математического анализа правилах дифференцирования составных функций (суммы, разности, произведения, частного, композиции, обратной функции и т. п.) и известных производных для простейших функций. Основы символьного (аналитического) дифференцирования являются предметом математического анализа (точнее, дифференциального исчисления), а более продвинутые результаты по этой теме входят в курсы компьютерной алгебры.

Численным дифференцированием называется процесс нахождения значения производной от функции, который использует значения этой функции в некотором наборе точек её области определения. Таким образом, если функция задана таблично (т. е. лишь на конечном множестве значений аргумента), либо процедура определения значений этой функции не может быть выписана в виде выражения или детерминированной программы, то альтернатив численному дифференцированию нет.

При автоматическом (алгоритмическом) дифференцировании оперируют не символьными представлениями выражений для функции и производных, как в символьном (аналитическом) дифференцировании, а их численными значениями при заданных значениях аргументов функции. Алгоритмическое (автоматическое) дифференцирование также требует знания

выражения для функции (или хотя бы компьютерной программы для её вычисления), но использует это выражение по-своему [2], [7], [8].

2.2 Применение методов дифференцирования для решения задач финансовой математики

В финансовой математике широко применяются методы вычисления производных. Рассмотрим предварительно кратко задачи финансовой математики.

2.2.1 Задачи финансовой математики

Задача классической финансовой математики сводится к сопоставлению денежных потоков от различных финансовых инструментов, исходя из критериев временной ценности денег (с учётом фактора дисконтирования), оценки эффективности вложений в те или иные финансовые инструменты (включая оценку эффективности инвестиционных проектов), разработки критериев отбора инструментов. В классической финансовой математике по умолчанию предполагается детерминированность процентных ставок и потоков платежей [1].

Стохастическая финансовая математика имеет дело с вероятностными платежами и ставками. Основная задача состоит в получении адекватной оценки инструментов с учётом вероятностного характера рыночных условий и потока платежей от инструментов. Формально сюда можно отнести оптимизацию портфеля инструментов в рамках средне-дисперсионного анализа. Также на моделях стохастической финансовой математики основаны методы оценки финансовых рисков. При этом в стохастической финансовой математике возникает необходимость определить критерии оценки рисков, в том числе, для адекватной оценки финансовых инструментов.

Методы, применяемые в финансовой математике, необходимы и используются при разработке условий контракта, при финансовом проектировании, при сравнении и выборе инвестиционных проектов и т. д.

2.2.2 Анализ расчёта чувствительности цены портфеля ценных бумаг к изменениям различных риск-факторов на основе численного дифференцирования. Постановка задачи.

Одним из основных финансовых применений теории ценообразования деривативов является возможность управления рисками на рынке ликвидных опционов. Такой рынок предоставляет возможность фирмам и отдельным лицам адаптировать свои риски в зависимости от их требований хеджирования или спекуляции. Для эффективной оценки таких рисков необходимо рассчитать чувствительность цены опциона к факторам, которые на неё влияют, такие как цена базового актива, волатильность и время до истечения срока действия опциона.

Если предположить существование аналитической формулы для цены опциона (например, в случае европейского опциона), то представляется возможным дифференцировать цену по её параметрам.

Метод конечных разностей широко используется в ценообразовании деривативов и других областях знаний для решений уравнений в частных производных. Данный метод применяется, в том числе, для аппроксимации частной производной, представляющую собой чувствительность к параметрам [3], однако имеет в качестве недостатка погрешность вычисления.

В связи с этим была поставлена задача разработать и реализовать алгоритмы вычисления производных на основе автоматического дифференцирования. Таким образом, методы АД должны отвечать двум критериям:

- точное вычисление параметров опционов;

— высокая скорость вычисления, не уступающая численным методам.

3 АЛГОРИТМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ И ИХ ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

3.1 Методы численного дифференцирования

3.1.1 Теория дифференцирования

Пусть функция $y = f(x)$ определена в промежутке X . Исходя из некоторого значения $x = x_0$ независимой переменной придадим ему приращение $\Delta x \leq 0$, не выводящее его из промежутка X , так что и новое значение $x_0 + \Delta x$ принадлежит этому промежутку. Тогда значение $y_0 = f(x_0)$ функции заменится новым значением $y_0 + \Delta y = f(x_0 + \Delta x)$, т. е. получит приращение

$$\Delta y = \Delta f(x_0) = f(x_0 + \Delta x) - f(x_0). \quad (3.1)$$

Если существует предел отношения приращения функции Δy к вызвавшему его приращению независимой переменной Δx , при стремлении Δx к нулю, т. е.

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x}, \quad (3.2)$$

то он называется производной функции $y = f(x)$ по независимой переменной x при данном её значении (или в данной точке) $x = x_0$.

Таким образом, производная при данном значении $x = x_0$ – если существует – есть определённое число; если же производная существует во всём промежутке X , т. е. при каждом значении x в этом промежутке, то она является функцией от x [4].

3.1.2 Аппроксимации первой производной

Пусть сеткой на отрезке $[0, l]$ называется любое конечное множество точек этого отрезка. Функция, определённая в точках сетки, называется сеточной функцией. Будем обозначать через Ω_N сетку, удовлетворяющую условиям

$$0 = x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_{N-1} < x_N = l, \quad (3.3)$$

и через f_i – значение сеточной функции $f(x)$ в точке $x_i \in \Omega_N$. Равномерной сеткой на отрезке $[0, l]$ называется множество точек

$$\Omega_h = \{x_i = ih, i = 0, 1, \dots, N\}, \quad (3.4)$$

где $h = l/N$ – шаг сетки. Множество внутренних точек сетки Ω_h , когда $i \neq 0$, $i \neq N$ будем обозначать через ω_h , т. е. положим

$$\omega_h = \{x_i = ih, i = 1, \dots, N-1\}. \quad (3.5)$$

Рассмотрим задачу приближённого вычисления производных функции $u(x)$, определённой и достаточно гладкой на отрезке $[0, l]$. Введём согласно (3.5) сетку ω_h и обозначим

$$u_i = u(x_i), \quad (3.6)$$

$$u_{\bar{x},i} = (u_i - u_{i-1})/h, \quad (3.7)$$

$$u_{\bar{x},i} = (u_{i+1} - u_i)/h, \quad (3.8)$$

$$u_{\bar{x},i} = (u_{i+1} - u_{i-1})/(2h). \quad (3.9)$$

Выписанные здесь разностные отношения называются, соответственно, левой, правой, и центральной разностными производными функции $u(x)$ в точке $x = x_i$. Если точка $x = x_i$ фиксирована, а шаг h стремится к нулю (при этом $i \rightarrow \infty$), то каждое из упомянутых разностных отношений стремится к значению производной функции $u(x)$ в точке $x = x_i$. Поэтому в качестве приближённого значения $u'(x)$ можно взять любое из этих разностных отношений.

Нетрудно получить выражение для погрешности, возникающей при замене дифференциального выражения разностным. Рассмотрим, например, левую разностную производную в точке $x = x_i$ и запишем её в виде

$$u_{\bar{x},i} = \frac{u(x) - u(x-h)}{h}. \quad (3.10)$$

По формуле Тейлора получим

$$u(x-h) = u(x) - hu'(x) + \frac{h^2}{2}u''(\zeta), \quad \zeta \in (x-h, x), \quad (3.11)$$

следовательно

$$u_{\bar{x},i} = u'(x_i) - \frac{h}{2} u''(\zeta_i). \quad (3.12)$$

Погрешность $u_{\bar{x},i} - u'(x_i)$, возникающая при замене дифференциального выражения $u'(x_i)$ разностным выражением $u_{\bar{x},i}$, называется погрешностью аппроксимации. Из разложения (3.12) видно, что погрешность аппроксимации является величиной $O(h)$ при $h \rightarrow 0$. В этом случае говорят, что имеет место аппроксимация первого порядка.

Приведём разложения, аналогичные (3.12), для других разностных отношений:

$$u_{\bar{x},i} = u'(x_i) + \frac{h}{2} u''(\zeta_i^{(1)}), \zeta_i^{(1)} \in (x_i, x_{i+1}), \quad (3.13)$$

$$u_{\bar{x},i} = u'(x_i) + \frac{h^2}{2} u'''(\zeta_i^{(2)}), \zeta_i^{(2)} \in (x_{i-1}, x_{i+1}). \quad (3.14)$$

Из разложения (3.14) видно, что центральная разностная производная аппроксимирует $u'(x_i)$ со вторым порядком, и, следовательно, является более точным приближением к $u'(x_i)$, чем левая или правая разностные производные [5].

3.2 Методы автоматического дифференцирования

3.2.1 Правило дифференцирования сложной функции (цепное правило)

Основой для АД является разложение дифференциалов, обеспечиваемых цепным правилом. Для простого выражения

$$y = f(g(h(x))) = f(g(h(w_0))) = f(g(w_1)) = f(w_2) = w_3 \quad (3.15)$$

применение цепного правила даёт

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dw_2} \frac{dw_2}{dw_1} \frac{dw_1}{dx}. \quad (3.16)$$

В основном, АД представлено двумя режимами:

- прямой режим вычисляет рекурсивное соотношение:

$$\frac{dw_i}{dx} = \frac{dw_i}{dw_{i-1}} \frac{dw_{i-1}}{dx}, w_3 = y. \quad (3.17)$$

В приведённом выше примере (3.17) сначала вычисляется $\frac{dw_1}{dx}$, а в последнюю очередь $-\frac{dy}{dx}$.

– обратный режим вычисляет рекурсивное соотношение:

$$\frac{dy}{dw_i} = \frac{dy}{dw_{i+1}} \frac{dw_{i+1}}{dw_i}, w_0 = x. \quad (3.18)$$

3.2.2 Прямой режим

При прямом накоплении сначала фиксируется независимая переменная, по которой выполняется дифференцирование, и рекурсивно вычисляется производная каждого подвыражения:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial y}{\partial w_{n-1}} \frac{\partial w_{n-1}}{\partial x} = \frac{\partial y}{\partial w_{n-1}} \left(\frac{\partial w_{n-1}}{\partial w_{n-2}} \frac{\partial w_{n-2}}{\partial x} \right) = \dots \quad (3.19)$$

Обозначим числовое значение производной следующим образом:

$$\dot{w} = \frac{\partial w}{\partial x}. \quad (3.20)$$

В качестве примера рассмотрим функцию:

$$z = f(x_1, x_2) = x_1 x_2 + \sin(x_1) = w_1 w_2 + \sin(w_1) = w_3 + w_4 = w_5. \quad (3.21)$$

Выбор независимой переменной, по которой выполняется дифференцирование, влияет на начальные значения \dot{w}_1 и \dot{w}_2 . Предположим, что интересует производная этой функции по x_1 . В этом случае начальные значения должны быть установлены так:

$$\dot{w}_1 = \frac{\partial x_1}{\partial x_1} = 1, \quad (3.22)$$

$$\dot{w}_2 = \frac{\partial x_2}{\partial x_1} = 0. \quad (3.23)$$

При установленном начальном значении можно затем вычислить значения, используя цепное правило, как показано в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Последовательность действий для прямого режима

| Операции для вычисления значения функции | Операции для вычисления производной |
|--|---|
| $w_1 = x_1$ | $\dot{w}_1 = 1$ (начальное значение) |
| $w_2 = x_2$ | $\dot{w}_2 = 0$ (начальное значение) |
| $w_3 = w_1 w_2$ | $\dot{w}_3 = w_2 \dot{w}_1 + w_1 \dot{w}_2$ |
| $w_4 = \sin(w_1)$ | $\dot{w}_4 = \dot{w}_1 \cos(w_1)$ |
| $w_5 = w_3 + w_4$ | $\dot{w}_5 = \dot{w}_3 + \dot{w}_4$ |

На рисунке 3.1 показано графическое изображение этого процесса в виде вычислительного графа.

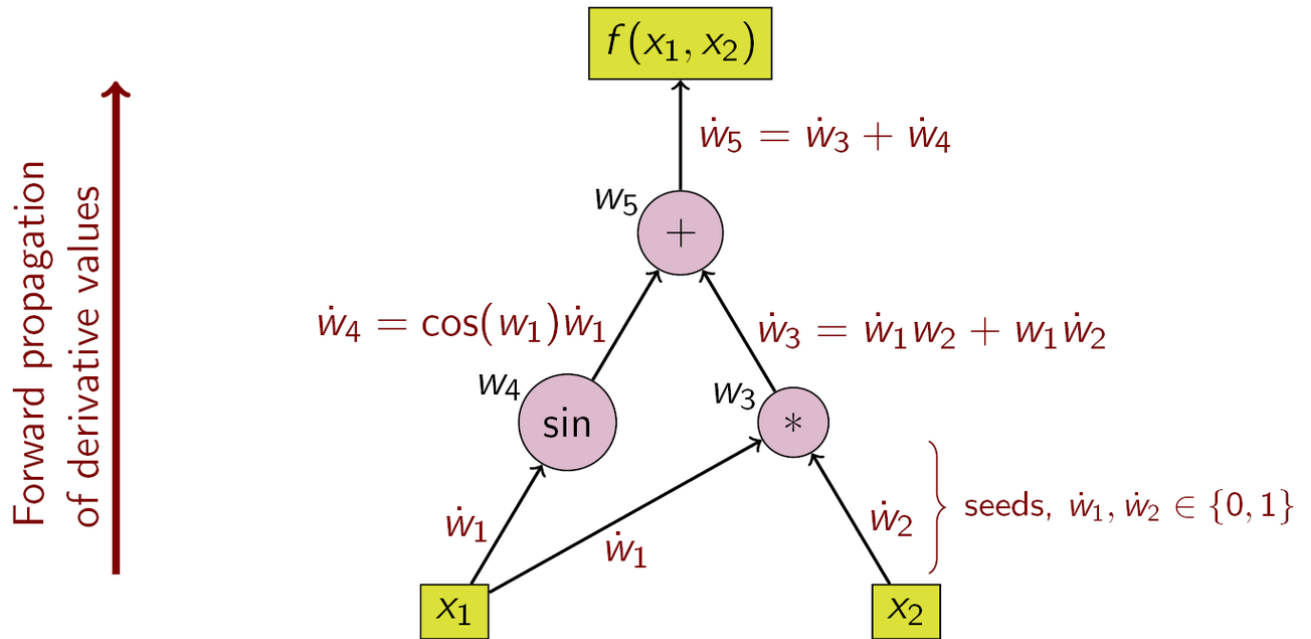


Рисунок 3.1 – Прямое вычисление значения производной

Чтобы вычислить градиент данной функции, для которого требуется производная от f не только по x_1 , но и по x_2 , необходимо провести аналогичные вычисления (таблица 3.1) со следующими начальными значениями:

$$\dot{w}_1 = \frac{\partial x_1}{\partial x_2} = 0, \quad (3.24)$$

$$\dot{w}_2 = \frac{\partial x_2}{\partial x_2} = 1. \quad (3.25)$$

3.2.3 Обратный режим

Обртный режим АД был впервые опубликован в 1970 году Seppo Linnainmaa в его магистерской диссертации [9], [10], [11].

При обратном накоплении сначала фиксируется зависимая переменная, подлежащая дифференцированию, и рекурсивно вычисляется производная каждого подвыражения:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial y}{\partial w_1} \frac{\partial w_1}{\partial x} = \left(\frac{\partial y}{\partial w_2} \frac{\partial w_2}{\partial w_1} \right) \frac{\partial w_1}{\partial x} = \dots \quad (3.26)$$

Обозначим числовое значение производной следующим образом:

$$\bar{w} = \frac{\partial y}{\partial w}. \quad (3.27)$$

Операции по вычислению производной для функции из предыдущего пункта с использованием обратного накопления показаны в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Последовательность действий для обратного режима

| Операции для вычисления значения функции | Операции для вычисления производной |
|--|---|
| $w_1 = x_1$ | $\bar{w}_5 = 1$ (начальное значение) |
| $w_2 = x_2$ | $\bar{w}_4 = \bar{w}_5$ |
| $w_3 = w_1 w_2$ | $\bar{w}_3 = \bar{w}_5$ |
| $w_4 = \sin(w_1)$ | $\bar{w}_2 = \bar{w}_3 w_1$ |
| $w_5 = w_3 + w_4$ | $\bar{w}_1 = \bar{w}_3 w_2 + \bar{w}_4 \cos(w_1)$ |

На рисунке 3.2 показано графическое изображение этого процесса в виде вычислительного графа.

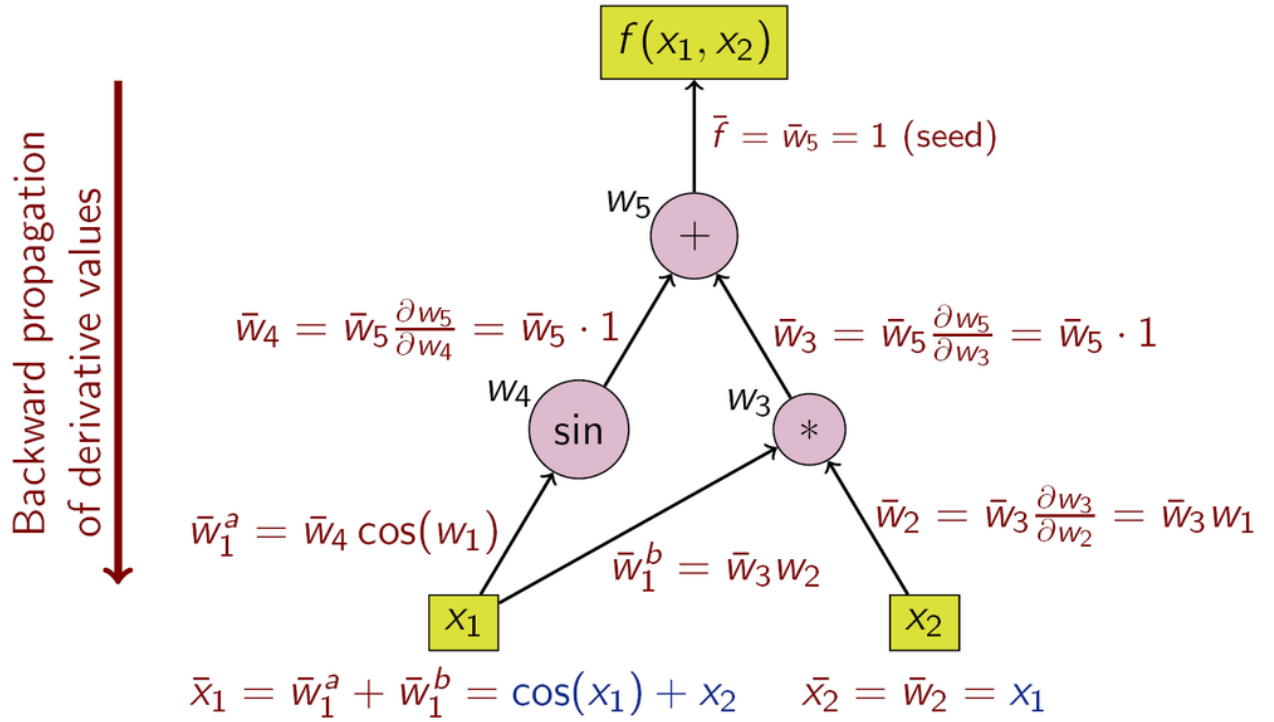


Рисунок 3.2 – Обратное вычисление значений производных

Для вычисления всех частных производных необходимо только одно начальное значение, однако обратный режим требует хранения промежуточных переменных w_i .

3.2.4 Дуальные числа

Автоматическое дифференцирование в прямом режиме осуществляется путём расширения алгебры действительных чисел и получения новой арифметики. Заменим каждое число x числом $x + x' \varepsilon$, где x' – действительное, а ε – абстрактное число, обладающее свойством $\varepsilon^2 = 0$ (бесконечно малая величина).

Новая арифметика теперь состоит из упорядоченных пар, элементов $\langle x, x' \rangle$:

$$\langle u, u' \rangle + \langle v, v' \rangle = \langle u + v, u' + v' \rangle, \quad (3.28)$$

$$\langle u, u' \rangle - \langle v, v' \rangle = \langle u - v, u' - v' \rangle, \quad (3.29)$$

$$\langle u, u' \rangle * \langle v, v' \rangle = \langle uv, u'v + uv' \rangle, \quad (3.30)$$

$$\frac{\langle u, u' \rangle}{\langle v, v' \rangle} = \left\langle \frac{u}{v}, \frac{u'v - uv'}{v^2} \right\rangle, v \neq 0, \quad (3.31)$$

$$\sin \langle u, u' \rangle = \langle \sin(u), u' \cos(u) \rangle, \quad (3.32)$$

$$\cos \langle u, u' \rangle = \langle \cos(u), -u' \sin(u) \rangle, \quad (3.33)$$

$$\exp \langle u, u' \rangle = \langle \exp(u), u' \exp(u) \rangle, \quad (3.34)$$

$$\log \langle u, u' \rangle = \left\langle \log(u), \frac{u'}{u} \right\rangle, u > 0, \quad (3.35)$$

$$\langle u, u' \rangle^k = \langle u^k, k u^{k-1} u' \rangle, u \neq 0, \quad (3.36)$$

$$|u, u'| = \langle |u|, u' \operatorname{sign}(u) \rangle, u \neq 0. \quad (3.37)$$

Для первообразной функции \mathbf{g} справедливо выражение:

$$\mathbf{g}(\langle u, u' \rangle, \langle v, v' \rangle) = \langle \mathbf{g}(u, v), \mathbf{g}_u(u, v)u' + \mathbf{g}_v(u, v)v' \rangle, \quad (3.38)$$

где \mathbf{g}_u и \mathbf{g}_v – производные \mathbf{g} относительно первого и второго аргументов [6].

Если для заданного выражения мы начнём вычисления по выписанным формулам (3.28)–(3.37), заменив исходную переменную x на пары $(x, 1)$, а константы c – на пары вида $(c, 0)$, то на выходе получим пару, состоящую из численных значений выражения и производной от него в точке x . Это рассуждение очевидно обобщается на случай, когда функция зависит от нескольких переменных.

3.2.5 Существующие библиотеки АД

В настоящее время для расчёта производных можно использовать готовые библиотеки автоматического дифференцирования (АД), однако они в совокупности имеют ряд недостатков:

- отсутствие обновлений и/или технической поддержки;
- сложности при внесении изменений;
- вопрос внедрения готовой АД библиотеки в уже существующий

и работающий без АД код ещё не исследован (это может вызывать сложности и требовать больше времени, чем самостоятельная разработка).

3.3 Разработка алгоритмов и программы автоматического дифференцирования применительно к задачам финансовой математики

3.3.1 Описание алгоритмов автоматического дифференцирования

Алгоритмы АД могут быть представлены последовательностью шагов, структурные схемы которых изображены на рисунке 3.3 для прямого режима и на рисунке 3.4 для обратного режима.

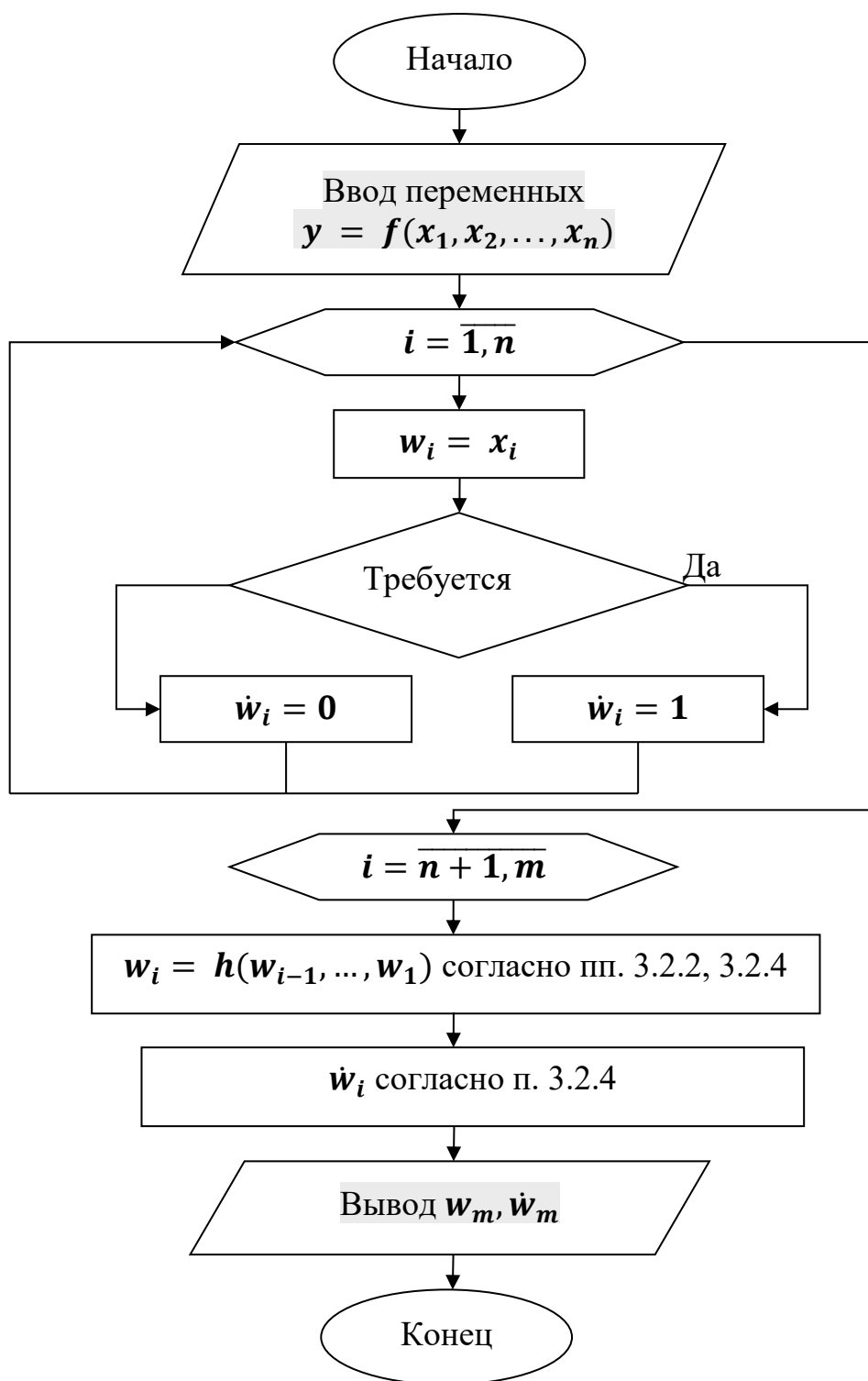


Рисунок 3.3 – Структурная схема прямого режима

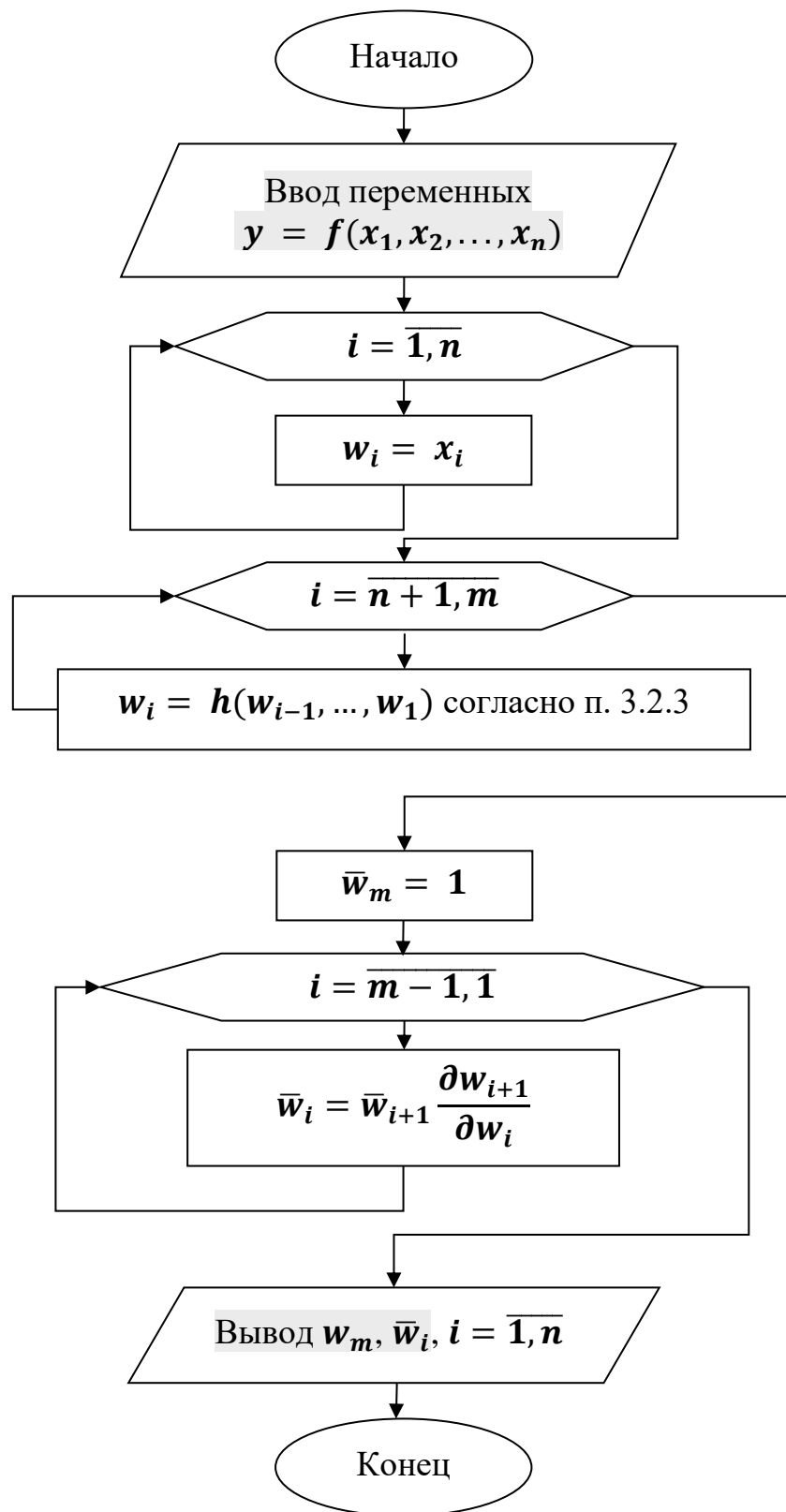


Рисунок 3.4 – Структурная схема обратного режима

3.3.2 Программная реализация алгоритмов

В качестве языка программирования для реализации данного проекта был выбран C++ – компилируемый статически типизированный язык программирования общего назначения.

Поддерживает такие парадигмы программирования, как процедурное программирование, объектно-ориентированное программирование, обобщённое программирование. Язык имеет богатую стандартную библиотеку (std), которая включает в себя распространённые контейнеры и алгоритмы, ввод-вывод, регулярные выражения, поддержку многопоточности и другие возможности. C++ сочетает свойства как высокоуровневых, так и низкоуровневых языков.

Листинги всех файлов представлены в Приложении Б.

3.3.2.1 Понятие класса

Класс – тип данных, определенный программистом. Он может содержать элементы данных, которые могут быть как переменными базовых типов C++, так и других определённых программистом типов. Элементы данных класса могут быть отдельными элементами данных, массивами, указателями, массивами указателей почти любого рода, объектами других классов. Класс также может содержать функции, которые оперируют объектами класса, обращаясь к элементам данных, которые они включают в себя. Таким образом, класс объединяет определение элементарных данных, из которых состоит объект, и средства манипулирования данными, относящимися к индивидуальным объектам класса.

Данные в классе называются полями, а функции – методами.

При определении класса создаётся «проект» типа данных. Это в действительности не создаёт никаких данных, но определяет смысл имени класса, т. е. что будет содержать объект этого класса и какие операции могут быть выполнены над таким объектом [12].

3.3.2.2 Шаблоны классов

В язык C++ включен механизм для определения шаблонов функций, которые автоматически создают различные вариации функции в зависимости от типа полученного аргумента или типа возвращаемого значения.

Шаблон класса сам по себе не является классом. Это некоторая разновидность «рецепта» для компилятора, по которому он создаёт код класса.

Процесс создания класса из шаблона называется реализацией шаблона.

Соответствующее определение класса создаётся тогда, когда вы создаёте экземпляр объекта шаблона класса для конкретного параметра типа, так что вы можете получить любое количество классов из одного-единственного шаблона [12].

3.3.2.3 Перегрузка операторов

Перегрузка операторов обеспечивает перепрограммирование операций таким образом, что в качестве операндов в них могут использоваться объекты интересующего нас типа.

Переопределение операций заключается в том, что транслятор «начинает понимать», что означает известная операция, если одним (или всеми) его операндами является объект нужного нам класса. Также существуют некоторые ограничения:

- нельзя менять синтаксис языка — количество операндов, приоритеты операций и направление их выполнения;
- переопределение операций производится отдельно для каждого сочетания операндов, перестановка операндов транслятором не производится;
- можно менять способы передачи операндов (по ссылке, по значению), тип и способ возвращения результата;

– никаких ограничений не накладывается на действия, выполняемые над объектами в переопределяемой операции (интерпретация операции может быть любой).

Если операция работает с операндами, принадлежащими к некоторому классу, то её желательно внести в этот класс хотя бы для того, чтобы не было проблем с доступом к закрытой части объекта. Такой способ называется переопределением операции в классе и возможен, если первый операнд операции является объектом этого класса. Для этой цели вводится специально поименованный метод со следующим синтаксисом:

- метод определяется в классе первого операнда;
- имя метода – `operator<знак операции>`;
- первый операнд – текущий объект класса;
- второй операнд – формальный параметр, который может быть передан как по значению, так и по ссылке. Тип формального параметра должен совпадать с типом второго операнда;
- результат операции может быть произвольного типа, он может возвращаться как указатель, ссылка или значение;
- на действия, выполняемые в теле метода, ограничений не накладывается (содержательная интерпретация операции может быть любой);
- если формальный параметр или результат передаются по значению, а объект содержит динамические данные, то в классе необходим конструктор копирования, который автоматически вызывается при передаче такого операнда и возвращении результата по `return` [13].

3.3.2.4 Контейнер «vector»

Контейнеры – это объекты, используемые для хранения и организации объектов [12].

`std::vector<T>` – реализация динамического массива переменного размера. Шаблон `vector` расположен в заголовочном файле `<vector>`. Как и все стандартные компоненты, он расположен в пространстве имён `std`.

Все элементы вектора должны принадлежать одному типу. Например, нельзя совместно хранить данные типов `char` и `int` в одном экземпляре вектора. Класс `vector` обладает стандартным набором методов для доступа к элементам, добавления и удаления элементов, а также получения количества хранимых элементов [14], [15], [16].

4 РЕАЛИЗАЦИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ НА МОДЕЛИ БЛЭКА-ШОУЛЗА

4.1 Модель Блэка-Шоулза

Модель ценообразования опционов Блэка–Шоулза (англ. Black–Scholes Option Pricing Model, OPM) – это модель, которая активно используется для описания так называемого базового актива (например, цены акции). Модель широко используется для оценки справедливой стоимости производных финансовых инструментов. Помимо европейских опционов модель позволяет исследовать теоретические цены и других инструментов, таких как варранты, конвертируемые ценные бумаги и т. д.

Согласно модели Блэка–Шоулза, ключевым элементом определения стоимости опциона является ожидаемая волатильность базового актива. В зависимости от колебания актива, цена на него возрастает или понижается, что влияет на стоимость опциона. Таким образом, если известна стоимость опциона, то можно определить уровень волатильности, ожидаемой рынком.

Аналитическая формула оценки справедливой стоимости опционов впервые была выведена Фишером Блэком и Майроном Шоулзом в 1973 году в статье «Оценка опционов и коммерческих облигаций» (The Pricing of Options and Corporate Liabilities).

Чтобы вывести свою модель ценообразования опционов, Блэк и Шоулз сделали следующие предположения:

- по базисному активу опциона дивиденды не выплачиваются в течение всего срока действия опциона;
- нет транзакционных затрат, связанных с покупкой или продажей акции или опциона;
- краткосрочная безрисковая процентная ставка известна и является постоянной в течение всего срока действия опциона;

- любой покупатель ценной бумаги может получать ссуды по краткосрочной безрисковой ставке для оплаты любой части её цены;
- короткая продажа разрешается без ограничений, и при этом продавец получит немедленно всю наличную сумму за проданную без покрытия ценную бумагу по сегодняшней цене;
- торговля ценными бумагами (базовым активом) ведётся непрерывно, и поведение их цены подчиняется модели геометрического броуновского движения с известными параметрами (в частности, эти параметры являются постоянными в течение всего срока действия опциона);
- не существует возможности арбитража.

Вывод модели основывается на концепции безрискового хеджирования. Покупая акции и одновременно продавая опционы call на эти акции, инвестор может конструировать безрисковую позицию, где прибыли по акциям будут точно компенсировать убытки по опционам, и наоборот.

Безрисковая хеджированная позиция должна приносить доход по ставке, равной безрисковой процентной ставке, в противном случае существовала бы возможность извлечения арбитражной прибыли и инвесторы, пытаясь получить преимущества от этой возможности, приводили бы цену опциона к равновесному уровню, который определяется моделью.

Цена (европейского) опциона call:

$$C(S, t) = SN(d_1) - Ke^{-r(T-t)}N(d_2), \quad (4.1)$$

где
$$d_1 = \frac{\ln S/K + (r + \sigma^2/2)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}};$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T-t};$$

$C(S, t)$ – текущая стоимость опциона call в момент t до истечения срока опциона;

S – текущая цена базисной акции;

$N(x)$ – функция распределения стандартного нормального распределения;

K – цена исполнения опциона;
 r – безрисковая процентная ставка;
 $T - t$ – время до истечения срока опциона (период опциона);
 σ – волатильность доходности (квадратный корень из дисперсии) базисной акции [17].

4.1.1 «Греки» и их применение

Для характеристики чувствительности цены (премии) опциона к изменению тех или иных величин, применяют различные коэффициенты, называемые «греками». Название происходит от греческого алфавита, буквами которого обозначаются эти коэффициенты (за исключением «веги»). «Греки» в рамках модели Блэка – Шоулза вычисляются явным образом (таблица 4.1):

Таблица 4.1 – «Греки» для опциона call [18], [19]

| «Грек» | Что | Опционы call |
|--------|--------------------------------------|---|
| Дельта | $\frac{\partial C}{\partial S}$ | $N(d_1)$ |
| Гамма | $\frac{\partial^2 C}{\partial S^2}$ | $\frac{N'(d_1)}{S\sigma\sqrt{T-t}}$ |
| Вега | $\frac{\partial C}{\partial \sigma}$ | $SN'(d_1)\sqrt{T-t}$ |
| Тета | $\frac{\partial C}{\partial t}$ | $-\frac{SN'(d_1)\sigma}{2\sqrt{T-t}} - rKe^{-r(T-t)}N(d_2)$ |
| Ро | $\frac{\partial C}{\partial r}$ | $K(T-t)e^{-r(T-t)}N(d_2)$ |

4.2 Методы оценки опционов

Существующие методы оценки опционов (как экзотических, так и стандартных) делятся на две группы:

– аналитические методы, т.е. оценка с помощью математически выведенных формул, которые позволяют мгновенно получить стоимость опциона. Формула Блэка-Шоулза (4.1) для оценки стандартных европейских опционов – пример такой формулы. Аналитические формулы имеются лишь для очень ограниченного набора экзотических опционов: простейших видов барьерных и азиатских, бинарных а также некоторых других. По этим причинам приходится использовать численные методы оценки;

– численные методы включают в себя метод конечных разностей, биномиальный метод и метод Монте-Карло. Достоинство их в том, что они позволяют оценить стоимость любых, экзотических опционов и деривативов. Однако точность этих методов обычно не является совершенной. Также они требуют большего объема вычислений и времени на получение результата [20].

4.2.1 Метод Монте-Карло

Метод Монте-Карло заключается в оценке математического ожидания выплаты, которую сгенерирует опцион для его владельца, путём многократного генерирования возможных ценовых путей движения акции.

Генерирование случайного значения будущей цены акции демонстрируется следующей формулой:

$$S_{t+\Delta t} = S_t \exp \left(\left[r - \frac{\sigma^2}{2} \right] * \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} * N_{0,1} \right), \quad (4.2)$$

либо

$$S_{t+\Delta t} = S_t (1 + r\Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} * N_{0,1}), \quad (4.3)$$

где $t + \Delta t$ – будущий момент времени;

$S_{t+\Delta t}$ – цена акции в будущий момент времени;

S_t – текущая цена акции;

r – математическое ожидание доходности акции;

σ – стандартное отклонение доходности акции;

$N_{0,1}$ – случайная величина, имеющая стандартное нормальное распределение (с нулевым матожиданием и стандартным отклонением, равным 1).

Расчёт выплаты по европейскому опциону вычисляется следующим образом:

$$P = \max\{S_T - K, 0\}, \quad (4.4)$$

где T – день истечения срока опциона.

Повторяем вычисления по формулам (4.2)/(4.3) и (4.4) многократно и получаем большое количество значений выплат по опциону.

Вычисляем среднее значение всех выборочных размеров выплат и получаем оценку стоимости C_t опциона:

$$C_t = \exp(-r\Delta t) * \frac{\sum_{i=1}^m P_i}{m}, \quad (4.5)$$

где m – количество сгенерированных траекторий.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|------------------------------|
| 8БМ61 | Ильясовой Ильмире Эльмировне |

| | | | |
|---------------------|--|-----------------------|--|
| Школа | Инженерная школа информационных технологий и робототехники | Отделение школы (НОЦ) | Информационных технологий |
| Уровень образования | магистратура | Направление | 01.04.02 Прикладная математика и информатика |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|--|---|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Оклады участников проекта, нормы рабочего времени, ставки налоговых отчислений во внебюджетные фонды, районный коэффициент по г. Томску |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|--|
| 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ | Оценка потенциального потребителя, проведение SWOT-анализа |
| 2. Разработка устава научно-технического проекта | Определение целей и результатов исследования, определение участников исследования |
| 3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок | Организация и планирование работы Структура работ в рамках проекта Определение трудоёмкости выполнения работы Расчёт сметы затрат на выполнение проекта |
| 4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности | Определение эффективности исследования |

Перечень графического материала

1. Матрица SWOT
2. График проведения НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель ШИП | Шаповалова Наталья Владимировна | | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 8БМ61 | Ильасова Ильмира Эльмировна | | |

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Для эффективного использования научного потенциала научно-исследовательской работы (НИР) необходимо прилагать усилия не только к непосредственно её разработке, но и к проведению её анализа с точки зрения экономических требований.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» части выпускной квалификационной работы рассмотрены следующие вопросы:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчёт бюджета научно-технического исследования.

5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Предприятие, по проблеме которого будет выполнена работа: общество с ограниченной ответственностью «Эко-Томск», г. Томск.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам.

В таблице 5.1 представлены данные об оценке конкурентных технических решений. В качестве конкурентов выступают уже существующие библиотеки автоматического дифференцирования.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путём по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путём, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i B_i, \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|--|--------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | | Б | Б _{к1} | Б _{к2} | К | К _{к1} | К _{к2} |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| Интерфейс пользователя | 0,1 | 5 | 3 | 5 | 0,5 | 0,3 | 0,5 |
| Сопроводительная документация | 0,07 | 5 | 5 | 5 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| Совместимость с другими программами | 0,04 | 5 | 5 | 4 | 0,2 | 0,2 | 0,16 |
| Простота ввода в эксплуатацию | 0,1 | 4 | 4 | 4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Возможности настройки программы по определенным параметрам | 0,05 | 5 | 4 | 5 | 0,25 | 0,2 | 0,25 |

Окончание таблицы 5.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|--|----------|---|---|---|-------------|-------------|------------|
| Аппаратная независимость, открытость системы | 0,06 | 3 | 2 | 2 | 0,18 | 0,12 | 0,12 |
| Язык написания, сложность сопровождения | 0,1 | 5 | 4 | 5 | 0,5 | 0,4 | 0,5 |
| Степень соответствия современным требованиям в области использования | 0,1 | 5 | 5 | 5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| Конкурентоспособность разработки | 0,1 | 5 | 5 | 5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Цена | 0,08 | 5 | 4 | 4 | 0,4 | 0,32 | 0,32 |
| Предполагаемый срок эксплуатации | 0,1 | 5 | 5 | 4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 |
| Финансирование научной разработки | 0,1 | 4 | 3 | 4 | 0,4 | 0,3 | 0,4 |
| Итого | 1 | | | | 4,68 | 4,09 | 4,4 |

Анализ конкурентоспособности, представленный в таблице 5.1, показал, что технические и экономические показатели оценки ресурсоэффективности нашей разработки опережают показатели конкурентов.

5.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильные стороны научно-исследовательского проекта:

- С1. Экологичность технологии;
- С2. Наличие бюджетного финансирования;
- С3. Квалифицированный персонал.

Слабые стороны научно-исследовательского проекта:

– Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой.

Возможности:

- В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ;
- В2. Использование инфраструктуры «Эко-Томск», г. Томск.

Угрозы:

- У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства;
- У2. Развитая конкуренция технологий производства.

Матрица SWOT-анализа представлена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – SWOT-анализ

| | |
|---|--|
| Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экологичность технологии С2. Наличие бюджетного финансирования С3. Квалифицированный персонал | Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой |
| Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Использование инфраструктуры «Эко-Томск», г. Томск | Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства |

В ходе выполнения SWOT-анализа были выявлены сильные стороны разработки, что позволяет проводить дальнейшие исследования.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования представлен в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|---|-------|---|-------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Разработка технического задания | 1 | Согласование, утверждение и принятие технического задания | Научный руководитель |
| Разработка и утверждение технического проекта | 2 | Определение программной среды | Студент |
| | 3 | Установление подробного плана и сроков разработки алгоритмов | Научный руководитель |
| | 4 | Утверждение технического проекта | Научный руководитель |
| Разработка алгоритмов, программной документации, испытание алгоритмов | 5 | Программирование, отладка проекта на локальной машине | Студент |
| | 6 | Разработка, выбор пакета тестов | Студент |
| | 7 | Поиск и устранение ошибок | Научный руководитель, студент |
| | 8 | Доработка проекта, устранение выявленных ошибок и уязвимостей | Студент |

Окончание таблицы 5.3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------|----|----------------------------------|-------------------------------|
| Внедрение | 9 | Внедрение проекта на предприятии | Научный руководитель, студент |
| | 10 | Утверждение алгоритмов | Научный руководитель |

5.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоёмкости работ (таблица 5.4) каждого из участников научного исследования.

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путём в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости $t_{ож_i}$ следующая формула:

$$t_{ож_i} = \frac{3t_{min_i} + 2t_{max_i}}{5}, \quad (5.2)$$

где $t_{ож_i}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{min_i} – минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{max_i} – максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоёмкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объёму научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяжёнными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кален}, \quad (5.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кален}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кален} = \frac{T_{кален}}{T_{кален} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (5.5)$$

где $T_{кален}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округляются до целого числа.

Таблица 5.4 – Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы | Трудоёмкость | | | Исполнители | Длительность работ в рабочих днях, T_p | Длительность работ в календарных днях, T_{ki} |
|--|--------------|-----------|----------|----------------------|--|---|
| | t_{min} | t_{max} | $t_{ож}$ | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Согласование, утверждение и принятие технического задания | 1 | 3 | 1,8 | Научный руководитель | 1,8 | 3 |
| Определение программной среды | 2 | 3 | 2,4 | Студент | 2,4 | 4 |
| Установление подробного плана и сроков разработки алгоритмов | 5 | 8 | 6,2 | Научный руководитель | 6,2 | 10 |
| Утверждение технического проекта | 2 | 3 | 2,4 | Научный руководитель | 2,4 | 4 |

Окончание таблицы 5.4















| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|----|----|-----|-------------------------------|-------------|------------|
| Программирование, отладка проекта на локальной машине | 50 | 55 | 52 | Студент | 52 | 77 |
| Разработка, выбор пакета тестов | 10 | 15 | 12 | Студент | 12 | 18 |
| Поиск и устранение ошибок | 5 | 10 | 7 | Научный руководитель, студент | 3,5 | 6 |
| Доработка проекта, устранение выявленных ошибок и уязвимостей | 5 | 7 | 5,8 | Студент | 5,8 | 9 |
| Внедрение проекта на предприятии | 3 | 6 | 4,2 | Научный руководитель, студент | 2,1 | 4 |
| Утверждение алгоритмов | 1 | 2 | 1,4 | Научный руководитель | 1,4 | 3 |
| Итого, дней | | | | | 89,6 | 138 |

Продолжительность работ составила 138 календарных дней.

5.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

На основе данных предыдущей таблицы построим календарный план-график проведения НИР (таблица 5.5).

Таблица 5.5 – Календарный план-график проведения НИР

| Вид работ | Исполнители | T_{kl} , к. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------------------|---|---|---|--|---------|---|---|---|------|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Январь | | | | Февраль | | | | Март | | | | Апрель | | | | Май | | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Согласование, утверждение и принятие технического задания | НР | 3 |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Определение программной среды | С | 4 | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Установление подробного плана и сроков разработки алгоритмов | НР | 10 | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Утверждение технического проекта | НР | 4 | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Программирование, отладка проекта на локальной машине | С | 77 | | | |  | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Разработка, выбор пакета тестов | С | 18 | | | | | | | | | | | | | |  | | | | | | | |
| Поиск и устранение ошибок | С+НР | 6 | | | | | | | | | | | | | | | |  |  | | | | |
| Доработка проекта, устранение выявленных ошибок и уязвимостей | С | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |  | | | |
| Внедрение проекта на предприятии | С+НР | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |  | |
| Утверждение алгоритмов | НР | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |  |
|  – студент |  – рук-ль | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

5.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

5.2.4.1 Расчёт затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В таблице 5.6 представлены затраты на необходимое оборудование.

Таблица 5.6 – Материальные затраты

| Наименование | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы, руб. |
|-------------------|-------------------|------------|-------------------|----------------------------|
| Монитор | шт. | 2 | 5000 | 10000 |
| Системный блок | | 2 | 21000 | 42000 |
| Компьютерная мышь | | 2 | 400 | 800 |
| Клавиатура | | 2 | 350 | 700 |
| Итого, руб. | | | | 53500 |

Сумма материальных затрат равна 53500 руб.

5.2.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научного руководителя и студента (таблица 5.7).

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) и студента рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда в ТПУ. Должностной оклад руководителя (доцент, кандидат наук) составляет 33664 рублей, а студента (взят по должности учебно-вспомогательного персонала) – 9489 рублей. Для расчёта средней заработной платы воспользуемся следующей формулой:

$$\text{Ср. зар. плата} = \frac{\text{Оклад} * k_p (1 + k_{\text{пр}} + k_d)}{n}, \quad (5.6)$$

где k_p – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок равен 0,2;

n – количество рабочих дней в месяце (21 день).

Таблица 5.7 – Расчёт основной заработной платы

| Исполнитель | Оклад, руб. | Средняя заработная плата, руб./дн. | Трудоемкость, раб. дн. | Основная заработная плата, руб. |
|--------------|----------------|---|---------------------------|------------------------------------|
| Руководитель | 33664 | 3125,94 | 17,4 | 54391,356 |
| Студент | 9489 | 881,12 | 77,8 | 68551,136 |
| Итого, руб. | | | | 122942,492 |

Основная заработная плата научного руководителя и студента составила 122942,492 руб.

5.2.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

В таблице 5.8 приведена информация о дополнительной заработной плате исполнителей. Для её расчёта необходимо умножить основную заработную плату исполнителя на коэффициент.

Таблица 5.8 – Расчёт дополнительной заработной платы

| Исполнитель | Основная заработная плата, руб. | Коэффициент дополнительной заработной платы | Дополнительная заработная плата, руб. |
|--------------|---------------------------------|---|---------------------------------------|
| Руководитель | 54391,356 | 0,15 | 8158,7 |
| Студент | 68551,136 | | 10282,7 |
| Итого, руб. | | | 18441,37 |

Дополнительная заработная плата: 18441,37 руб.

5.2.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды представлена в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Отчисления во внебюджетные фонды

| Исполнитель | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. |
|--|---------------------------------|---------------------------------------|
| Руководитель | 54391,356 | 8158,7 |
| Студент | 68551,136 | 10282,7 |
| Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды | 0,3 | |
| Итого, руб. | | |
| 42415,16 | | |

Величина внебюджетных отчислений: 42415,16 руб.

5.2.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = \text{сумма предыдущих статей} * k_{\text{нр}}, \quad (5.7)$$

где $k_{\text{нр}} = 0,16$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Таким образом, $З_{\text{накл}} = 37967,84$ руб .

5.2.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – Расчет бюджета затрат НТИ

| Статьи расходов | Сумма, руб |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Материальные затраты | 53500 |
| Основная заработная плата | 122942,5 |
| Дополнительная заработная плата | 18441,4 |
| Отчисления во внебюджетные фонды | 42415,2 |
| Накладные расходы | 37967,8 |
| Бюджет затрат НТИ | 275267 |

Бюджет затрат НТИ составил 275267 руб.

5.3 Оценка эффективности исследования

В зависимости от того, в какой сфере и форме проявляется эффект различают следующие его виды: бюджетный, народнохозяйственный, коммерческий.

Народохозяйственный критерий иллюстрирует общегосударственное значение проекта, что может позволить инновационному предприятию

участвовать в освоении перспективных государственных заказов, реализуемых в рамках данного направления.

Коммерческий критерий отображает стремление инновационного предприятия получить за счёт реализации данного проекта планируемую прибыль.

Бюджетный критерий делает возможным сэкономить заложенные в бюджеты того или иного уровня расходы.

Реализуемым проектом является разработка и реализация алгоритмов автоматического дифференцирования на модели Блэка-Шоулза на языке C++.

Данный проект предполагает получение коммерческого эффекта. Применение реализованных алгоритмов позволяет эффективней управлять рисками на финансовом рынке.

Также в рамках эффективности исследования стоит отметить научную значимость. Научно-технический уровень характеризует влияние проекта на уровень и динамику обеспечения научно-технического прогресса в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод балльных оценок. Балльная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщённую оценку проводят по сумме баллов по всем показателям. На её основе делается вывод о целесообразности НИР.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется интегральный показатель (индекс) ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{\text{НТУ}} = \sum_{i=1}^3 R_i n_i, \quad (5.7)$$

где $K_{\text{НТУ}}$ – интегральный индекс научно-технического уровня;

R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта (таблица 5.11);

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах (таблицы 5.12 – 5.14 содержат критерии оценки рассматриваемых признаков).

Таблица 5.11 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

| Признаки научно-технического эффекта НИР | Характеристика признака НИР | R_i |
|---|--|-------------------------|
| Уровень новизны | Систематизируются и обобщаются сведения, определяются пути дальнейших исследований | 0,4 |
| Теоретический уровень | Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.) | 0,1 |
| Возможность реализации | Время реализации в течение первых лет | 0,5 |

Таблица 5.12 – Баллы для оценки уровня новизны

| Уровень новизны | Характеристика уровня новизны – n_1 | Баллы |
|------------------------|--|--------------|
| Принципиально новая | Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ | 8 – 10 |
| Новая | По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты | 5 – 7 |
| Относительно новая | Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами | 2 – 4 |
| Не обладает новизной | Результат, который ранее был известен | 0 |

Таблица 5.13 – Баллы значимости теоретических уровней

| Теоретический уровень полученных результатов – n_2 | Баллы |
|---|-------|
| Установка закона, разработка новой теории | 10 |
| Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ взаимодействия между факторами с наличием объяснений | 8 |
| Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.) | 6 |
| Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций) | 2 |
| Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений | 0,5 |

Таблица 5.14 – Возможность реализации результатов по времени

| Время реализации – n_3 | Баллы |
|--------------------------|-------|
| В течение первых лет | 10 |
| От 5 до 10 лет | 4 |
| Свыше 10 лет | 2 |

В таблице 5.15 указано соответствие качественных уровней НИР значениям показателя, рассчитываемого по формуле (5.7).

Таблица 5.15 – Качественные уровни НИР

| Уровень НТЭ | Показатель НТЭ |
|-------------|----------------|
| Низкий | 1 – 4 |
| Средний | 4 – 7 |
| Высокий | 8 – 10 |

Для данного исследования частные оценки уровня n_i и их краткое обоснование даны в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Оценки научно-технического уровня НИР

| Значимость | Фактор НТУ | Уровень фактора | Выбран ный балл | Обоснование выбранного балла |
|-------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0,4 | Уровень новизны | Новая | 7 | Позволяет получать точное значение производных |
| 0,1 | Теоретическ ий уровень | Разработка способа | 6 | Разработка алгоритмов |
| 0,5 | Возможность реализации | В течение первых лет | 10 | Быстрое внедрение и переход к эксплуатации |

Отсюда интегральный показатель научно-технического уровня для данного проекта составляет:

$$K_{\text{НТУ}} = 0,4 * 7 + 0,1 * 6 + 0,5 * 10 = 8,4. \quad (5.8)$$

Таким образом, данный проект имеет высокий уровень научно-технического эффекта.